

全トランジスタ式精密周波数検出装置

All Transistorized Precision Type Frequency Detector

竹村 克己*
Katsumi Takemura

内 容 梗 概

電力系統の自動周波数調整装置 (AFC) の検出部として使用する精密周波数検出装置を試作した。本装置は系統周波数を通倍し、標準周波数とのうなり周波数をとることにより、系統周波数変化分を約 100 倍に拡大し、飽和変圧器とトランジスタを用いた周波計回路でこれを直流に変換するもので、整定周波数 50 c/s、電源電圧 85~110 V、周囲温度 0~50°C において、出力電圧は 3 V/0.1 c/s、ドリフトを含めた検出精度として ± 0.004 c/s が得られた。

1. 緒 言

電力系統の自動周波数調整 (AFC) は、需給の平衡を維持するという重要な役目を負うもので、これに使用される機器にはすぐれた精度と高度の信頼性が要求される。

AFC を行うには、まず系統周波数の目標値からの偏差を検出することが先決であり、従来から種々の検出方式が採用されているが、その構成部品として接点、しゅう動接触部分、機械的チョップ、真空管そのほかの可動部分、消耗部品を含む場合が多く、信頼性の面でなお改良の余地があった。

今回試作した精密周波数検出装置は ± 0.005 c/s の精度を目標としたもので、全トランジスタ化された損耗部分のない信頼性の高いものである。以下その大要を述べる。

2. 装置の概要

2.1 精密周波数検出装置の原理

第 1 図につき精密周波数検出装置⁽¹⁾の原理を説明する。

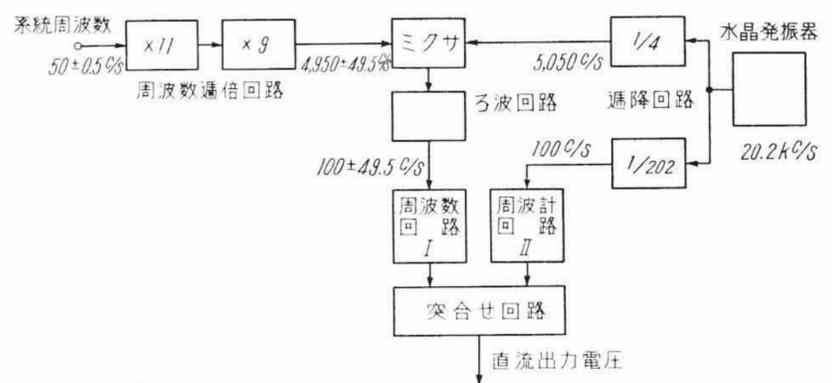
系統周波数 50 c/s をひずみ波発生回路と所望の奇数次高調波をとりだす帯域通過ろ波器とからなる 2 段の周波数通倍回路により 99 倍に通倍し 4,950 c/s をうる。一方標準水晶発振器の周波数 (20.2 kc/s) を通降回路で $\frac{1}{4}$ に落して 5,050 c/s を作る。次に両者をミクサで混合し、そのうなり周波数 100 c/s をろ波回路で取り出す。たとえば系統周波数が 50 ± 0.5 c/s 変化すればうなり周波数は 100 ± 49.5 c/s となる。このうなり周波数と、標準周波数を $\frac{1}{202}$ した 100 c/s とを飽和鉄心変圧器とトランジスタを用いた特性の等しい二組の周波計回路^{(2)~(4)}によりおのおのその周波数に比例した直流電圧に変換する。この二つの電圧を突合わせてその差を装置の出力とする。系統周波数がちょうど 50 c/s のとき 2 個の周波計回路出力電圧が等しくなるようにあらかじめ調整しておけば、装置出力電圧は系統周波数の 50 c/s からの偏差に正しく比例することになる。

2.2 本方式の特長

この方式の利点として次の諸点があげられる。

- (1) 系統周波数変化分は 99 倍に拡大され、系統周波数をそのまま周波計回路に加えた場合に比較して周波計回路出力電圧の変化が著しく大きくなり検出感度が増大する。
- (2) したがって周波計回路の電圧、温度などの変化による影響が減少し精度が格段に向上する。
- (3) さらに特性のほぼ等しい周波計回路を 2 個差動接続して用いるので電源電圧、温度などによる特性変化は相殺され、これらの影響は極度に小さくできる。
- (4) 標準発振器の周波数漂動による誤差は、市販の精度 10^{-5} の

* 日立製作所日立研究所



第 1 図 精密周波数検出装置原理図

水晶発振器を用いることにより目標精度 ± 0.005 c/s より一けた小さくすることができる。

(5) 系統周波数通倍比および基準周波数 (5050, 100 c/s) は変化しないからこの部分は精度を悪化させる原因とならない。

(6) 周波数通倍部、周波計回路部はじめ全装置を無接点トランジスタ化できるから、信頼性の高いものが得られる。

3. 装置の詳細

3.1 目標仕様

- 整定周波数.....50.0 c/s
- 使用周波数範囲..... 50 ± 0.5 c/s
- 精 度..... ± 0.005 c/s (ドリフトを含む)
- 出力電圧.....3V/0.1 c/s (100 k Ω 負荷)

3.2 装置の詳細

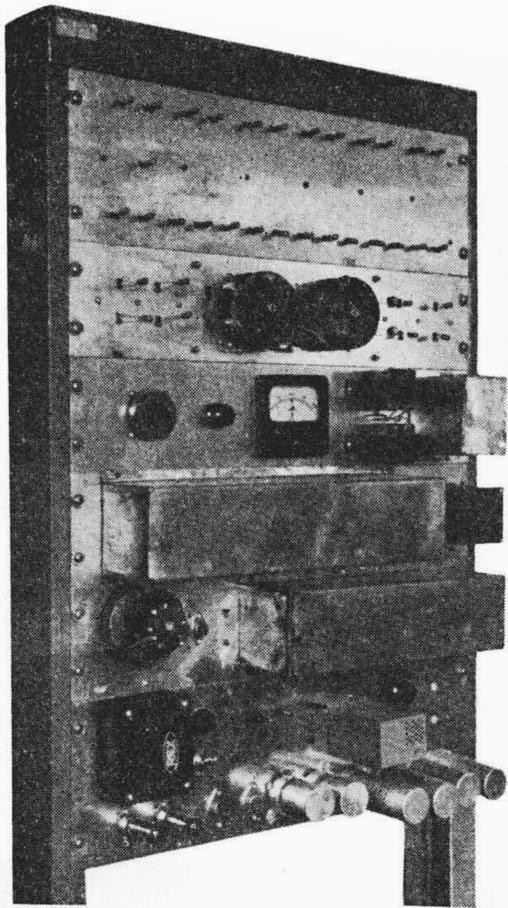
第 2 図に精密周波数検出装置の外観を示した。装置を大別すれば周波数通倍部、標準周波発生部、うなり周波発生部、周波計回路部、電源部となる。以下その動作と構成について述べる。

3.2.1 周波数通倍部

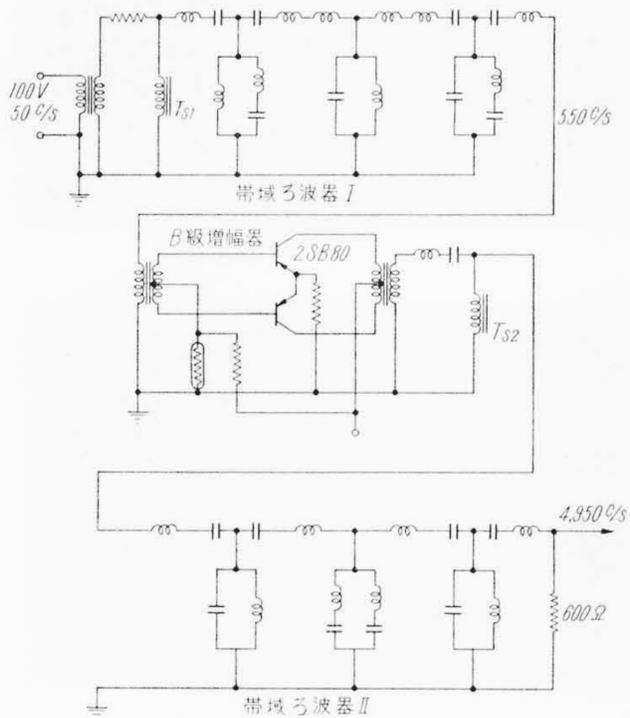
前述の周波計回路はトランジスタテレメータの受量器として実用され、その精度は諸影響を含めて 1% 程度であるから、 ± 0.005 c/s の検出精度をうるには系統周波数通倍比は約 100 倍でよいことがわかる。本装置では 99 倍を選んだ。

第 3 図は通倍部の全回路図である。図において矩形ヒステリシス鉄心を用いた飽和リアクトル Ts_1 により 50 c/s せん頭波を発生せしめ、帯域ろ波器 I により第 11 高調波 550 c/s を取り出す。これをトランジスタ B 級増幅器で増幅し、ふたたび飽和リアクトル Ts_2 を飽和させて 550 c/s せん頭波を作り、ろ波器 II により第 9 高調波 4,950 c/s をうる。

ろ波器 I は公称インピーダンス 600 Ω 、カットオフ周波数 $f_1 = 500$ c/s、 $f_2 = 605$ c/s であり、その構成は



第2図 精密周波数検出装置の外観



第3図 周波数通倍部回路図

(Upper peaked 5 素子形) + (定K形) + (Lower peaked 5 素子形)
 $f_{2\infty} = 672.2 \text{ c/s}$ $f_{1\infty} = 450 \text{ c/s}$

ろ波器 II は公称インピーダンス 600Ω , カットオフ周波数 $f_1 = 4,600 \text{ c/s}$, $f_2 = 5,326.6 \text{ c/s}$

(定K形) + (6 素子誘導M形) + (定K形)
 $f_{1\infty} = 4,100 \text{ c/s}$, $f_{2\infty} = 5,976.2 \text{ c/s}$

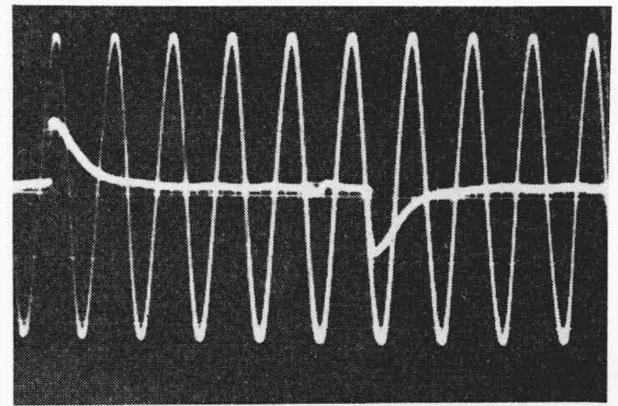
であり、いずれも Zobel の設計式⁽⁵⁾に従って設計した。

第4図は 50 c/s せん頭波と帯域ろ波器 I の出力 550 c/s を示し、第5,6図はそれぞれ 550 c/s せん頭波、ろ波器 II の 4,950 c/s 出力波形を示したものできれいな正弦波が得られている。

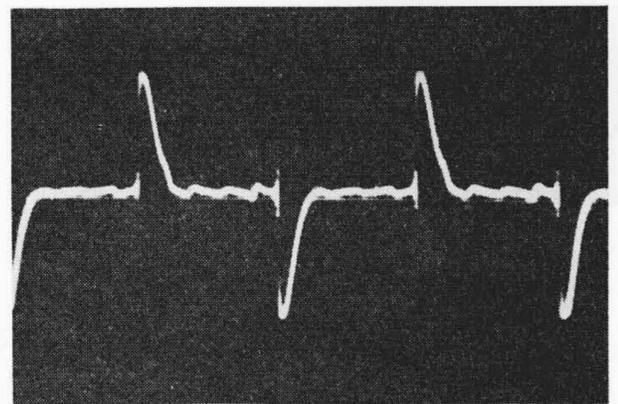
3.2.2 標準周波発生部

第7図は標準周波発生部の論理図である。

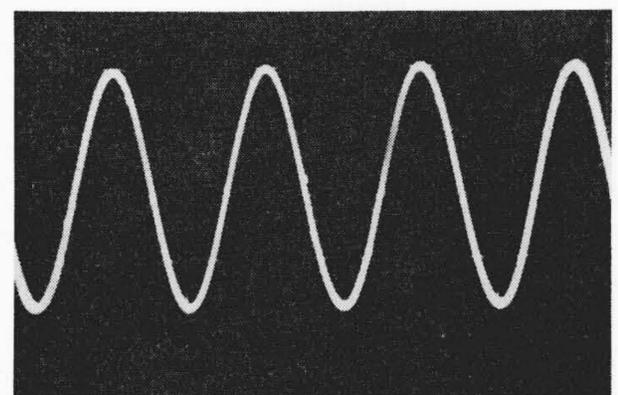
F.F₁~F.F₁₀ はフリップフロップ、Sch₁, Sch₂ はシュミット回路、Bはバッファアンプであり、論理素子としてはいずれもトランジスタ 2SA-12 を使用している。



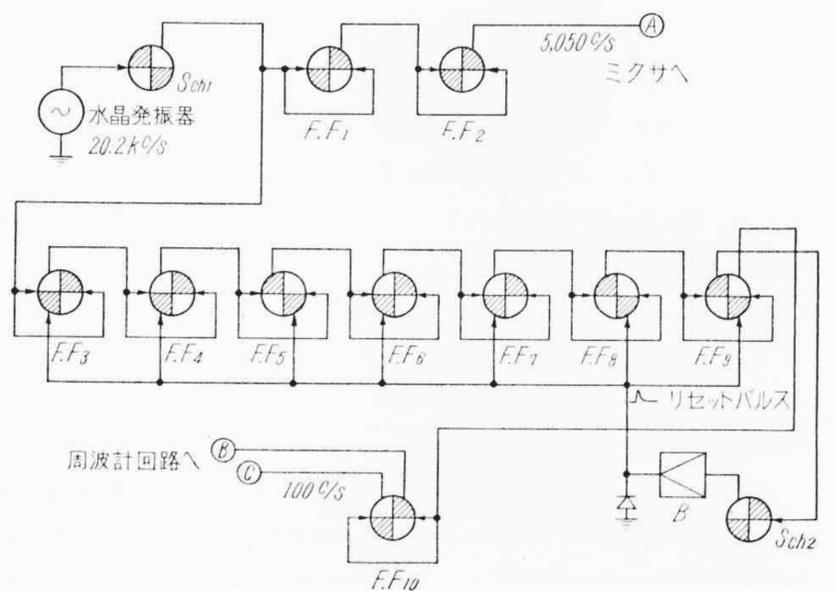
第4図 帯域ろ波器 I の入力 50 c/s せん頭波と 550 c/s 出力波形



第5図 帯域ろ波器 II の入力 550 c/s せん頭波形



第6図 帯域ろ波器 II の出力 4,950 c/s 波形

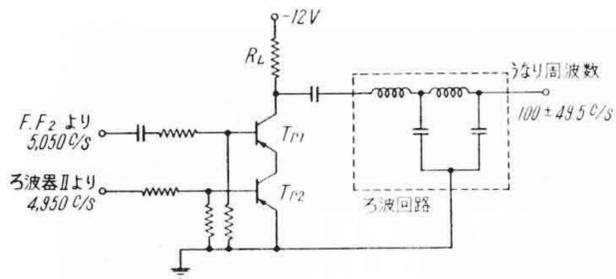


第7図 標準周波発生部原理図

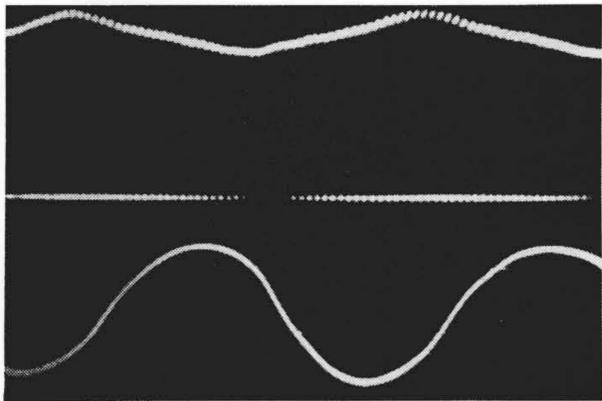
端子(A)にはミクサ用基準周波数 5,050 c/s 矩形波が、(B)(C)には周波計回路用基準周波数 100 c/s が得られる。

3.2.3 うなり周波発生部

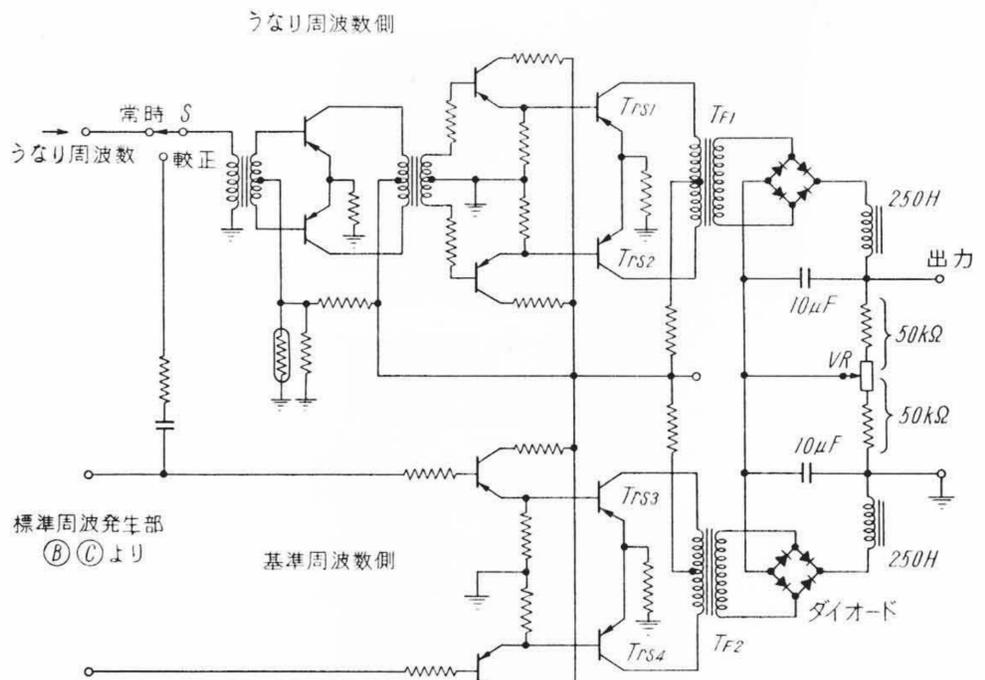
第8図はうなり周波発生部の回路図で、トランジスタ Tr₁, Tr₂ はアンド回路を構成している。Tr₁ のベースには第7図(A)端子から基準の 5,050 c/s が、Tr₂ にはろ波器 II よりの 4,950 ± 49.5 c/s が与えられている。両者の位相が一致し、双方のベース電圧がと



第8図 うなり周波発生部



(上) Tr₁ コレクタ電圧 (下) ろ波回路出力
第9図 うなり周波発生部の動作



第10図 周波計回路部

もに負のとき Tr_1, Tr_2 の直列回路は導通し、負荷抵抗 R_L の電圧降下は最大となり、逆位相であれば零となる。双方の周波数差は $100 \pm 49.5 \text{ c/s}$ であるから Tr_1 のコレクタ電圧の平均値はこのうなり周波数で変化し、ろ波回路で不必要な高周波成分を除いて $100 \pm 49.5 \text{ c/s}$ のうなり周波電圧を取り出すことができる。

第9図の(上)は Tr_1 はコレクタ電圧、(下)はうなり周波電圧の波形を示したものである。

3.2.4 周波計回路部

第10図は周波計回路部を示し、上半分はうなり周波数側、下は基準周波数側である。トランジスタ Tr_{s1}, Tr_{s2} と飽和鉄心変圧器 T_{F1} 、および Tr_{s3}, Tr_{s4}, T_{F2} はそれぞれ周波計回路を構成している。この回路は日立トランジスタテレメータで実用されているもので、飽和変圧器 T_F の二次巻線 N_2 の誘起電圧を両波整流しこれを負荷抵抗 R に与えたときの出力電圧 V は、

$$V = 4 N_2 \phi_m f$$

V : 周波計回路負荷抵抗端子電圧

N_2 : 飽和変圧器二次巻線数

ϕ_m : 鉄心の磁束飽和値

f : 入力矩形波周波数

となり、 N_2, ϕ_m は一定であるから出力電圧は入力周波数に正比例する。出力電圧 V は

$$1/2 f_{\max} = 2 N_1 \phi_m / E$$

N_1 : 一次巻線数

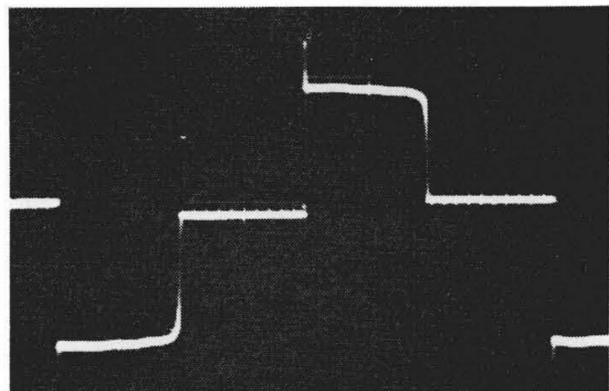
E : 一次巻線端子電圧

なる周波数 f_{\max} で飽和する特性となる。

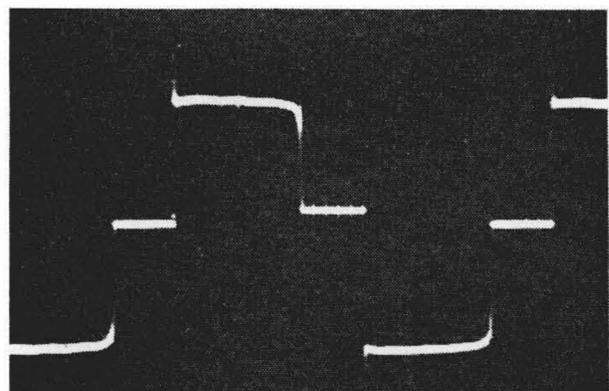
本装置に使用した周波計回路は $f_{\max} = 150 \text{ c/s}$ 、出力電圧は基準の 100 c/s において突合わせ回路終端抵抗 $50 \text{ k}\Omega$ の端子電圧が 50 V になるように設計した。系統周波数が $50 \pm 0.5 \text{ c/s}$ 変化すればうなり周波側周波計回路出力電圧はほぼ $50 \pm 25 \text{ V}$ 変化するから、差動接続された出力端子には、無負荷で $5 \text{ V}/0.1 \text{ c/s}$ 、 $100 \text{ k}\Omega$ 負荷で $3 \text{ V}/0.1 \text{ c/s}$ の出力が得られる。出力回路の 250 H 、 $10 \mu\text{F}$ は平滑回路で、これによりリップル電圧は 30 mV 以下になる。

出力回路の抵抗 VR は2個の周波計回路の不平衡を補正するものである。スイッチ S を“校正”側に切替えて双方に基準の 100 c/s を与えて装置出力が零になるように調整を行えばよい。

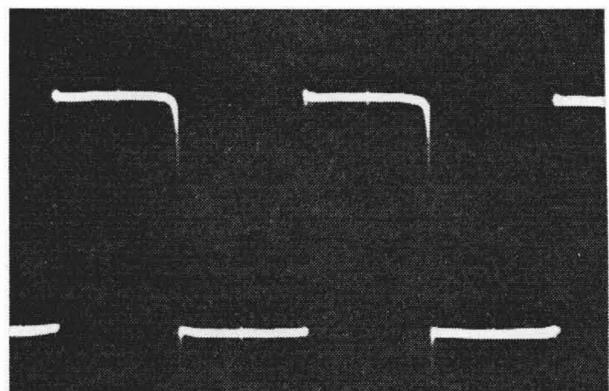
第11図はうなり周波数側 T_{F1} 二次巻線の波形を示したもので、(a)はうなり周波数 50 c/s 、(b)は 100 c/s (基準状態)、(c)は



(a) うなり周波数 50 c/s



(b) うなり周波数 100 c/s



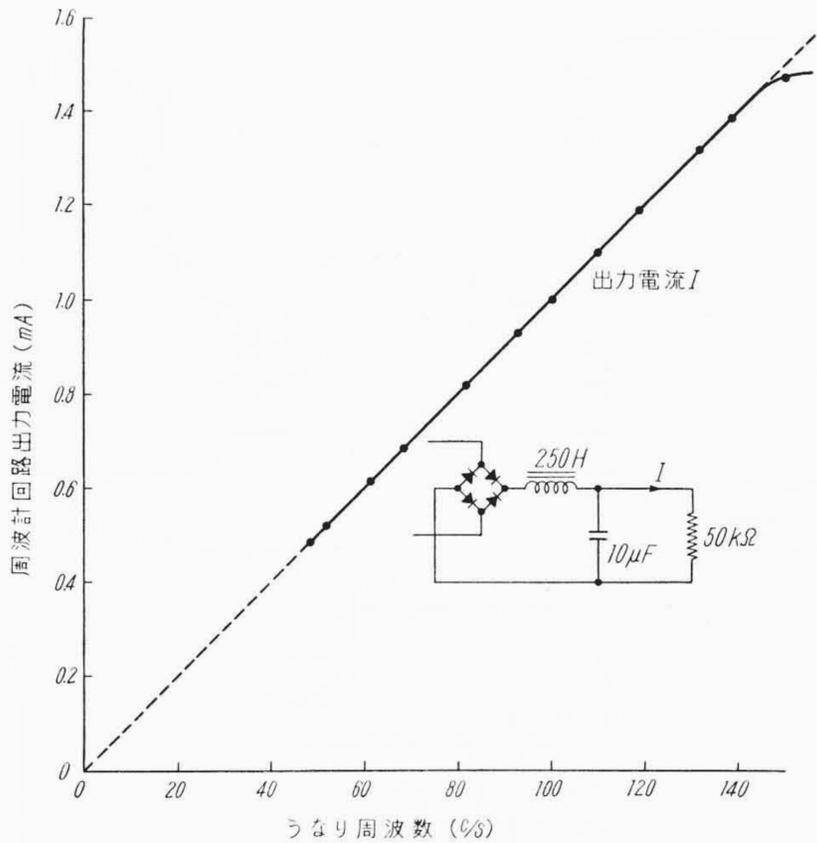
(c) うなり周波数 150 c/s

第11図 周波計回路の動作

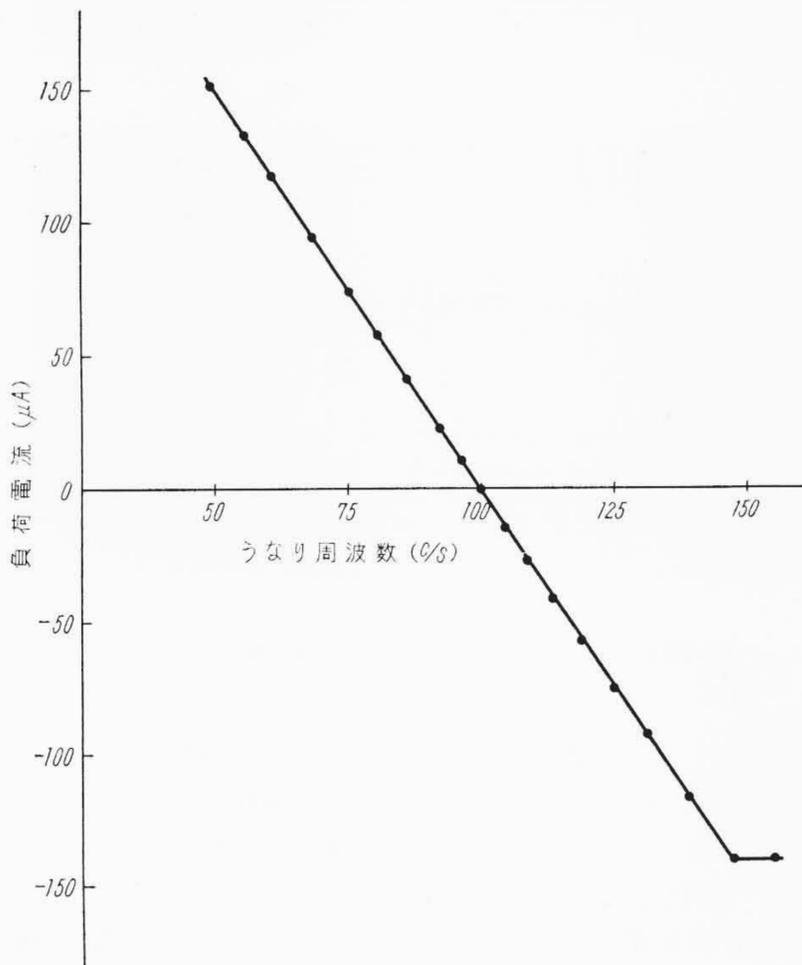
150 c/s (飽和状態) の場合を示したものであり、入力周波数に従って単位時間における矩形パルス (面積一定) の数が変化しており、これを両波整流した平均値が入力周波数に比例することが明らかである。

3.2.5 電源部

電源は A. C. 100 V で動作する直列形トランジスタ定電圧回路



第12図 周波計回路の入力周波数対出力電流特性



第13図 周波計回路部のうなり周波数対装置出力電流特性

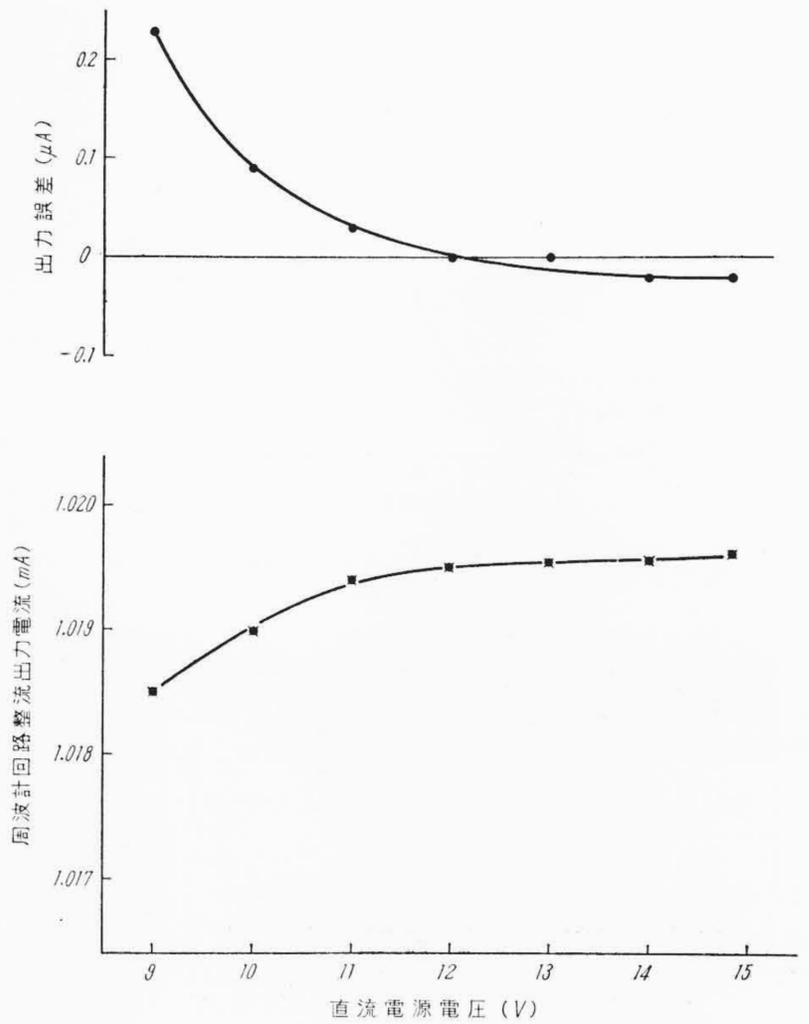
で、全装置に $-12V$ の直流定電圧を供給している。装置動作状態における負荷電流は約 $0.4A$ である。

4. 装置の特性

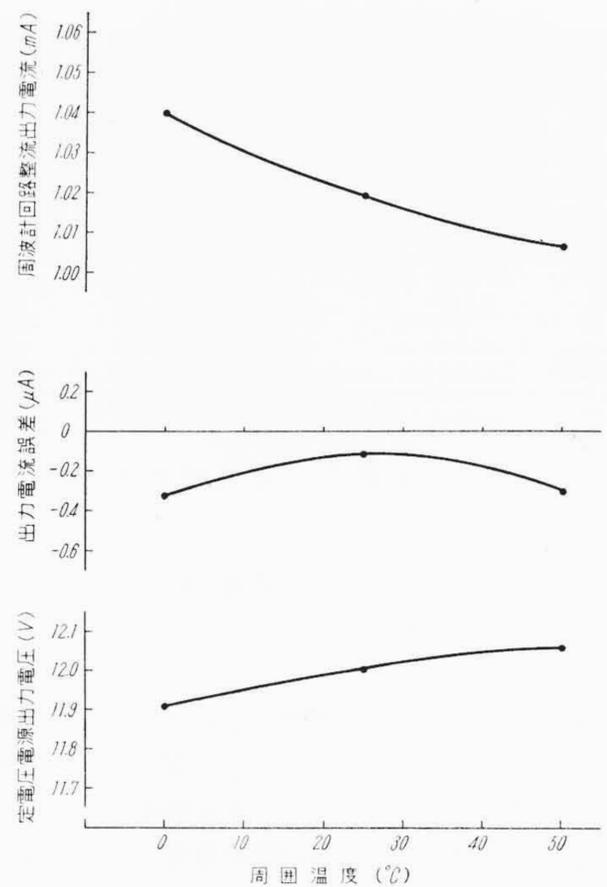
4.1 静特性

前述のように本装置の精度は周波計回路の特性のみによって定まる。第12図は周波計回路単体の入力周波数対出力電流特性の実測結果であり、その変換精度は非常に良好である。第13図は装置の出力端子に $100k\Omega$ を負荷したときの入力周波数対負荷電流の関係を示したもので良好な直線性が得られている。

第14図は定電圧直流電源の設定値を $9V$ から $15V$ まで変化させたときのおおのこの周波計回路出力電流と $100k\Omega$ 負荷電流の誤差分



第14図 直流電源電圧に対する周波計回路部の特性

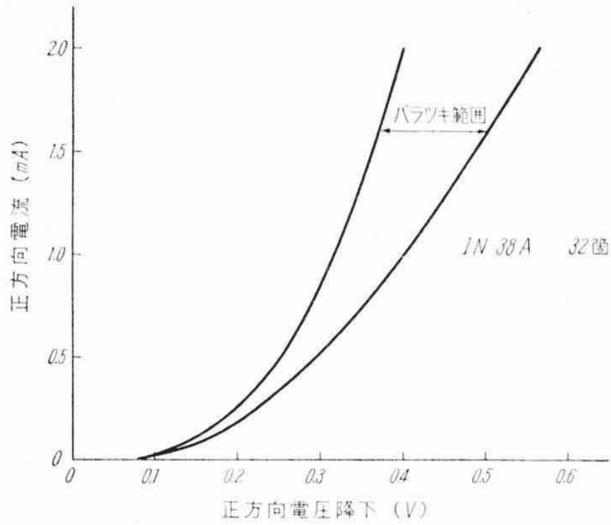


第15図 温度特性実験結果

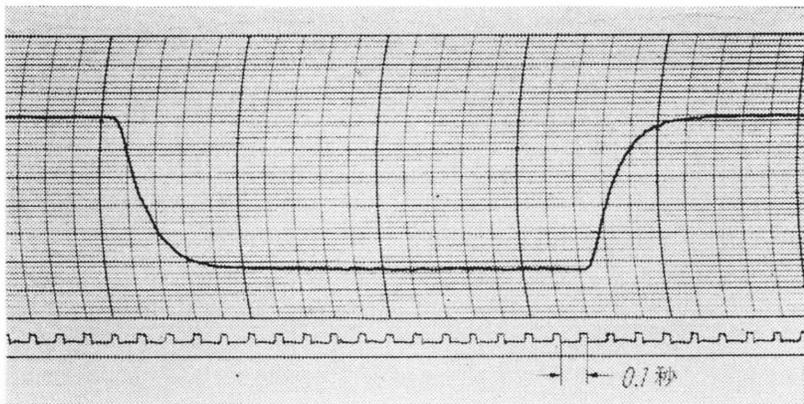
を示したもので、各周波計回路の電流は変化しても、突合わせた誤差分は $0.23\mu A$ 、系統周波数に換算して $0.00077c/s$ にすぎない。

定電圧電源は入力電圧 $85\sim 110V$ 、出力電流 $0\sim 0.6A$ (装置所要電流 $0.4A$)に対して 0.3% 以内の定電圧特性を有するから實際上電源電圧 $85\sim 110V$ の変動に対しては誤差は生じないといってもよい値である。

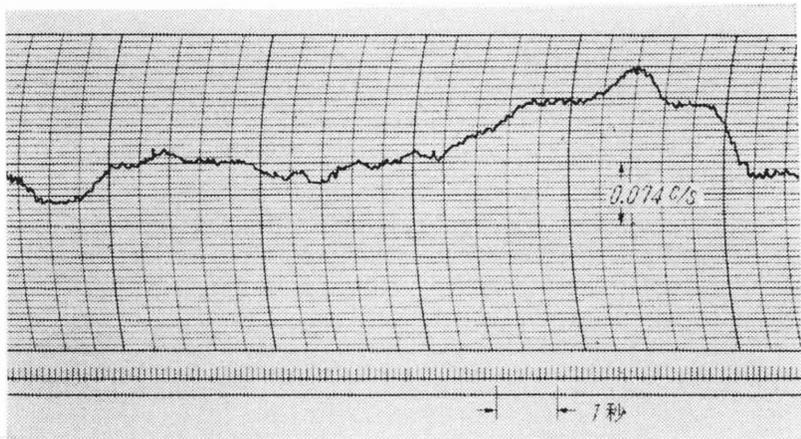
第15図は温度特性を示したもので $0\sim 50^{\circ}C$ の外温に対して周波計回路単体の出力電流、直流定電圧電源はおおのこの多少の変化を示しているが、装置出力に表われる誤差は $0.33\mu A$ で、周波数換算で



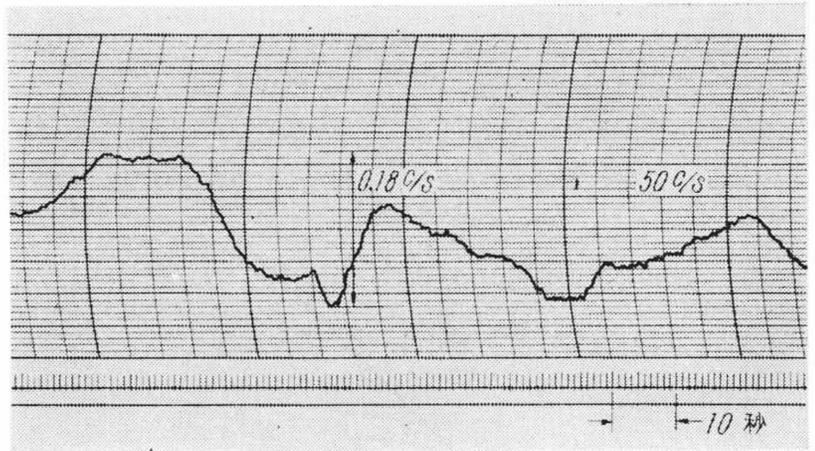
第16図 周波計回路用ダイオード特性のバラツキ



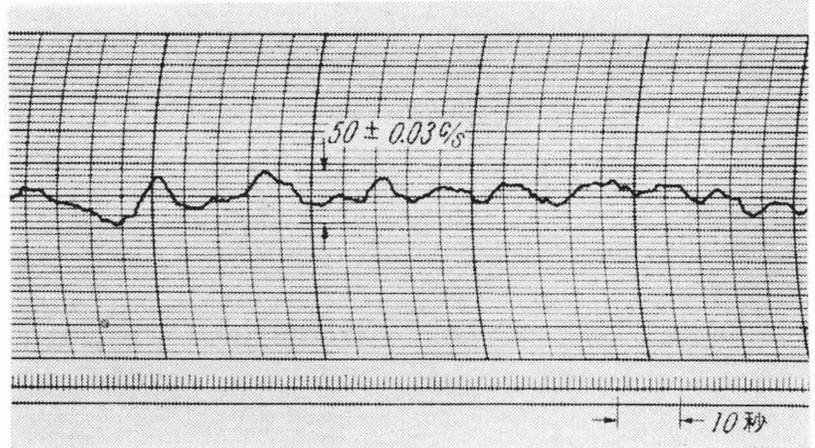
第17図 周波計回路の過渡応答



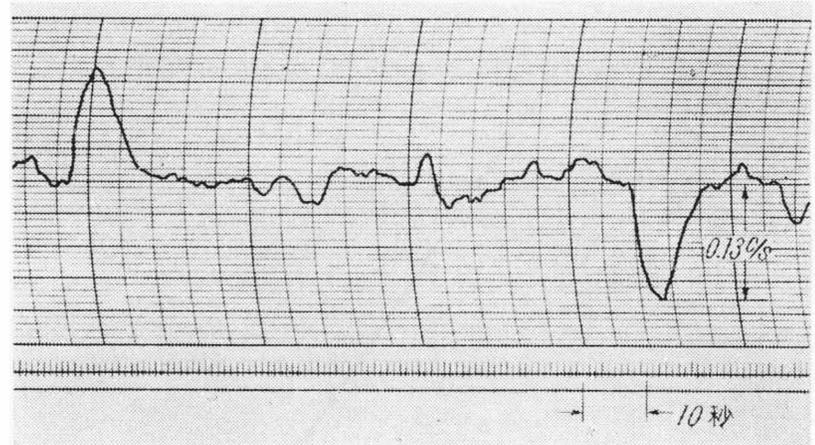
第18図 本装置による周波数測定例



(a) 無制御時の発電機周波数



(b) 本装置を使用したAFC結果



(c) 周波数急変時の制御経過

第19図 本装置を検出部としたAFC実験結果

0.0011 c/s にすぎず、周波計回路の差動接続により両者に同じように作用する因子は相殺されて、誤差として表われないことが立証されている。

全装置の特性に最も大きく影響するものは、周波計回路整流用ダイオードの正方向特性のばらつきである。第16図にゲルマニウムダイオード 1N38A、32個のばらつきの範囲を示したが、これら32個のダイオードを2組の周波計回路の整流用として種々な組合わせで使用したとき装置出力に表われた誤差は周波数換算で 0.0036 c/s であった。しかしながらいったん使用ダイオードを決めてから較正を行い、基準状態の出力を零としておけば使用中にこのような誤差を生ずることはないと考えられる。

周波計回路用トランジスタ 2S B-89 のばらつきの影響はほとんど省略しうる程度であり、また標準発振器の周波数変動による誤差も精度、温度特性 1×10^{-5} の水晶を使用することにより ± 0.0005 c/s 以下にすることができる。

4.2 動特性

系統周波数変化に対する装置出力電圧の応答は、AFC という閉回路自動制御系の一要素としてできるだけ速いことが望ましい。本装置の応答特性は周波計回路出力の平滑回路により定まり、ほかの

部分は無視しうる。第17図は周波計回路の応答特性を示したもので時定数は約 0.1 秒であり、上記の目的に十分使用しうるものである。第18図は本装置により東京電力系統の周波数を測定したものであり、忠実な測定が行われている。

第19図は本装置を検出部に用い直流電動機の界磁抵抗器を自動操作して 50 kVA 交流発電機の AFC を行った結果を示したものであり、実系統の AFC に対してもすぐれた性能を期待できる。

4.3 特性の検討

本装置の精度は電源電圧 85~110V、周囲温度 0~50°C において ± 0.0011 c/s、整流用ダイオードの正方向特性のばらつきを考慮に入れても 0.004 c/s であり、目標精度 0.005 c/s を上回るよい結果が得られた。装置の時定数は約 0.1 秒で AFC の一環として十分な速応性を有する。

系統周波数は正常な状態で ± 0.5 c/s を越えることはないが、系統事故などに際してはこれを越える場合も起りうる。本装置では系統周波数が 47.4 c/s より下ると帯域ろ波器の減衰域に入り動作不確実となる。また 51 c/s より上昇するとうなり周波数が零を越えて再度増加し始め 52 c/s から逆操作をするに至る。本装置では周波数偏差が過大になったとき装置出力の代りに正または負の一定直流電圧を次段に自動的に供給することにより誤操作を防止している。

5. 結 言

電力系統のAFCを行うための周波数検出部としては50c/s(あるいは60c/s)±0.005c/sの高精度が要求される。このための検出装置として系統周波数を過倍し、その変化分を拡大して周波計回路により直流電圧に変換する方式を開発した。

50c/s系統用の装置として電源電圧85~110V、温度0~50°Cにおいて精度±0.004c/sが得られた。装置は全トランジスタ化され、接点および可動部分がないから信頼性が高い。

本装置の精度は10⁻²%であるからAFC以外においても狭い範

囲の周波数あるいは回転数を精密に測定する用途に応用される。

終りに、終始ご指導を賜った日立研究所三浦所長、小林部長に厚く感謝の意を表す次第である。

参 考 文 献

- (1) 実用新案出願中
- (2) 小沢, 笹間, 山田: 日立評論
- (3) 小沢: 電気計算 27, 60 (昭 34-8)
- (4) 小沢: 電気計算 27, 50 (昭 34-9)
- (5) O. J. Zobel: B. S. T. J., 2, 1 (Jan. 1923)



特 許 の 紹 介



特許 第264389号

田 中 成 一・小 村 利 夫

レ バ ー 一 装 置

この発明は、主クラッチレバーとブーム巻胴クラッチレバーおよび巻胴ブレーキにより構成されるブーム巻上装置において、この三者を機械的に連動させ、双方のレバーを操作してドラムが駆動されたときにのみブレーキがゆるむようにし、レバーを単独に操作しただけ、すなわちドラムが駆動されないときはブレーキが絶対にゆるまないようにしたことを特長とする。

1. ブーム起倒レバー9およびブーム巻胴用クラッチレバー1を単独に操作する場合

起倒レバー9だけを入り位置Dに動かしベルクランク11を時計方向に回転させると、動力伝達用主クラッチ17は、かん入されるが、ブーム巻胴用クラッチ8は離脱状態にあるから、ブーム巻胴軸23が回転するだけでブーム巻胴24には動力は伝わらない。この場合、ベルクランク11,3に連結するベルクランク13は揺動するだけで回動しないから、ブレーキ16はしめつけられた状態に保たれる。したがって、巻胴24は回転しないからブームは起倒しない。

また、クラッチレバー1だけを入り位置Bに動かしベルクラン

ク3,5を反時計方向に回転させると、クラッチ8はかん入するが主クラッチ17は離脱状態にあるので巻胴軸23は回転しない。他方ブレーキレバー15はバネの作用により動かないので、ブレーキ16はしめつけられた状態のままに保たれるため前記と同様にブームは起倒しない。

2. 両レバー9,1の双方を操作する場合

クラッチレバー1を入りにした後に起倒レバー9を入りにすれば、上記のようにベルクランク11,5の作動によりクラッチ17,8がかん入すると同時に、レバー12およびベルクランク13の作動によりブレーキレバー15はバネの力に打ち勝って押し下げられるからブレーキ16はゆるむ。そこで巻胴24は回転してブームの起倒作業を行う。

この発明によれば、レバー操作の誤りによりブームのてん倒するような心配は全然なく、未熟練者でも容易に、かつ安全に作業を行うことができる。

(野 村)

